

大阪市立大学工学部 学生員 ○ 吉山 純平
大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
大阪大学大学院工学研究科 学生員 谷上 裕明

1. 研究背景と目的

鋼トラス橋の弦材に用いられる柱部材は，溶接接合により組み立てられる薄肉箱形鋼断面からなり，軸方向力が卓越して作用する．このような部材に，圧縮力が作用すると，板パネルの局部座屈と部材の全体座屈とが連成する複雑な弾塑性挙動を呈する．

これまで，薄肉箱形断面鋼製柱部材を対象として，圧縮力が単調載荷された際の最大耐力は，各種実験，解析により明らかにされているものの，変形性能についてはあまり評価されていない¹⁾．また，軸方向力の繰返し作用に対する部材の耐力特性も，ほとんど明らかにされていないため，鋼トラス橋の耐震設計法や耐震補強の確立には至っていないのが現状である²⁾．

そこで，本研究では，部材の全体座屈の発生が想定される薄肉箱形断面鋼製部材に軸方向力が単調および繰返し作用する場合の耐力特性を載荷実験により明らかにしている．載荷には，大阪市立大学所有の 1,000 kN アクチュエーターを使用する．

2. 実験方法

2.1 実験供試体の断面パラメータおよび寸法形状

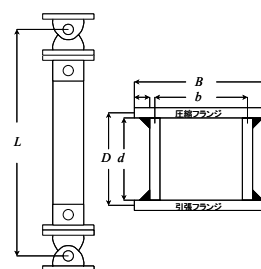
本研究では，鋼トラス橋の実績調査を参考にして，両端がピン支持された鋼柱部材である実験供試体を設計し，これに軸方向力を偏心載荷させる．着目するパラメータは，細長比パラメータ λ および幅厚比パラメータ R であり，全体座屈が卓越する $(\lambda, R) = (0.7, 0.5)$ の 2 体の鋼柱部材を用いて，偏心軸方向の単調および繰返し載荷実験を行う．ここで，軸方向力による応力 σ_N と材端曲げモーメントによる曲げ応力 σ_M が 3:1 となるように偏心量 $e (=7.7 \text{ mm})$ を設定している．実験供試体の寸法を表-1 に示す．なお，表中の記号 S は細長比パラメータ λ を， R は幅厚比パラメータ R であり， $(\lambda, R) = (0.7, 0.5)$ の実験供試体の名称を S7R5 とし，単調載荷には M を，繰返し載荷には C を付している．

2.2 載荷方法および計測方法

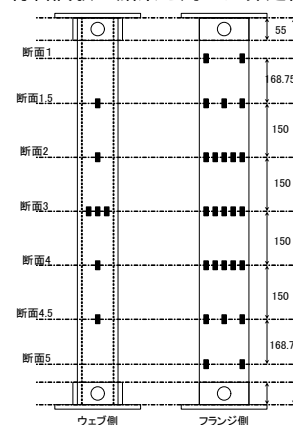
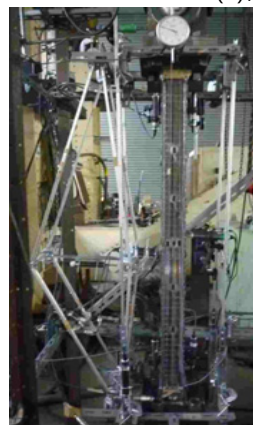
実験供試体は，図-1(a)に示すように両端にピン支持治具を取り付け，軸方向変位 δ_a と面外変位 δ_m を変位計により計測する．そして，図-1(b)に示す断面 1 から 5 にひずみゲージを貼付し，座屈の発生を検知する．また，繰返しの載荷パターンは図-2 に示す通りである．

表-1 供試体諸元

供試体名	S7R5
細長比パラメータ λ	0.68 (0.70)
幅厚比パラメータ R	0.5 (0.53)
弾性係数 E (N/mm ²)	200000 (207072)
降伏点(SM490A) σ_y (N/mm ²)	325 (380)
板厚 t (mm)	3.2
b (mm)	75.5
B (mm)	90.7
D (mm)	65.0
d (mm)	68.2
断面積 A (mm ²)	996.5
断面二次モーメント I (mm ⁴)	822800
断面係数 W (mm ³)	23048
ピン中心間距離 L (mm)	1471.6
偏心量 e (mm)	7.7



()内は，材料試験の結果を用いた算定値



(a) 実験供試体の設置状況 (b) ひずみゲージの貼付位置

図-1 計測方法

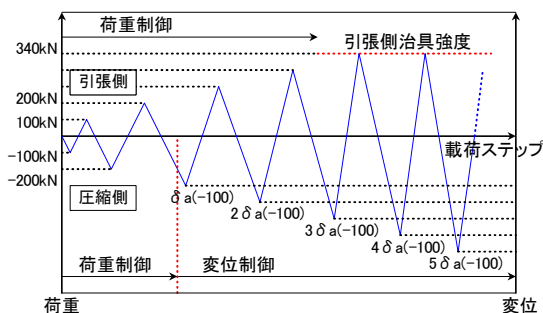


図-2 繰返し載荷パターン

3. 単調および繰返し載荷実験結果

3.1 載荷終了後の変形

図-3 に載荷終了後の変形を示す。図-3 によると、単調載荷と繰返し載荷とで、載荷終了時の座屈の発生個所に違いは認められず、いずれも、板パネルの局部座屈と部材の全体座屈が連成して生じている。

3.2 荷重-変位関係

図-4 に荷重-変位関係を、表-2 に最大圧縮荷重時の荷重および変位の実験値を無次元化して示す。

軸方向力のみ降伏荷重 P_{Ny} 、軸方向降伏変位 δ_{Nay} および面外方向降伏変位 δ_{Nmy} は、弾性域 (30 ~ 60 kN) の荷重-変位関係に基づき算定した。また、圧縮荷重載荷側の包絡線を取り出し無次元化した荷重-変位関係を図-5 に示す。

図-4、図-5 および表-2 によると、軸方向を繰返し載荷する場合と、単調載荷する場合で、最大圧縮荷重および最大圧縮荷重以降の強度低下に顕著な違いは認められなかった。しかし、繰返し載荷を受ける場合では、最大圧縮荷重に至るまでに若干の剛性低下が認められた。

3.3 断面のひずみ分布

実験供試体の中央断面圧縮側フランジのひずみ分布を図-6 に示す。図-6 は、軸方向荷重 P を最大圧縮荷重 P_{max} で除し、 $P/P_{max}=0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ のときのひずみ $\varepsilon/\varepsilon_y$ の値を示している。

実験供試体 CS7R5 では、荷重の繰返し作用により、残留応力の影響が小さくなり、最大圧縮荷重時における断面ひずみ分布は一様になる傾向にある。

4. 結論

本研究では、座屈発生および繰返し作用が、軸力が卓越する鋼部材の耐荷力に及ぼす影響を明らかにするため、全体座屈が先行して生じる薄肉箱形断面鋼部材の単調および繰返し載荷実験を実施した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- 1) λ の大きい柱 ($\lambda=0.7$) では、最大圧縮荷重に達する以前に全体座屈が発生する。その後フランジおよびウェブに局部座屈が生じ、荷重低下が生じる。
- 2) 柱部材が軸方向力の繰返し載荷を受ける場合、単調圧縮載荷を受ける場合と比較して、最大圧縮荷重および座屈の発生位置に違いは認められない。しかし、残留応力の影響が小さくなることで、断面ひずみへの影響や軸方向変位の増加が認められる。

参考文献

- 1) 宇佐美勉・福本湧士・青木徹彦：溶接箱形断面柱の局部座屈と全体座屈の連成強度に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第 308 号，pp.37-48，1981.4
- 2) (社)土木学会：座屈設計ガイドライン改訂第 2 版，丸善，2005.10

表-2 最大圧縮荷重時の荷重と変位の結果

実験供試体名	P_{max}/P_{Ny}	δ_{ma}/δ_{Nay}	δ_{mm}/δ_{Nmy}
MS7R5	0.80	1.04	2.54
CS7R5	0.79	1.07	2.29
M/C	1.01	0.97	1.11

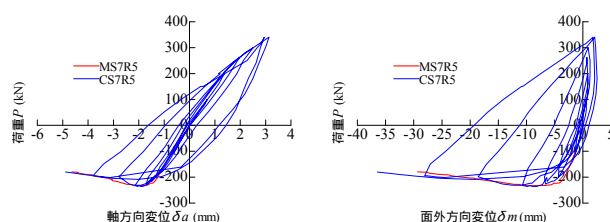


(a) MS7R5



(b) CS7R5

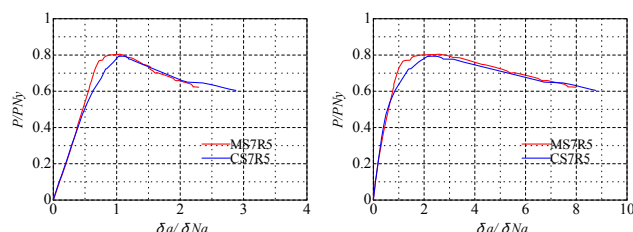
図-3 載荷終了後の変形



(a) 軸方向

(b) 面外方向

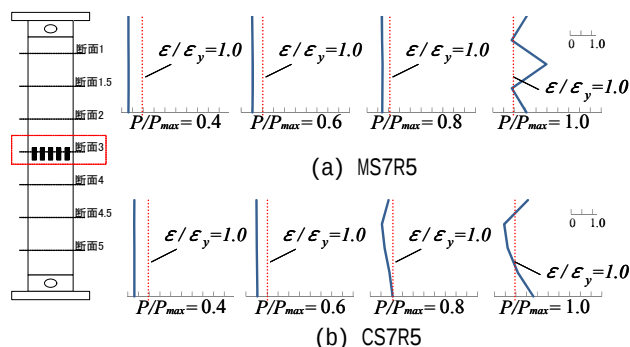
図-4 荷重-変位関係



(a) 軸方向

(b) 面外方向

図-5 圧縮側の包絡線



(a) MS7R5

(b) CS7R5

図-6 圧縮フランジのひずみ分布